



특 2000-0064554

866  
EP 0 887 621

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.  
G01B 11/30  
G01N 21/88

(11) 공개번호 특2000-0064554  
(43) 공개일자 2000년11월06일

(21) 출원번호	10-1998-0706960	
(22) 출원일자	1998년09월04일	
변역문제출일자	1998년09월04일	
(86) 국제출원번호	PCT/JP1996/00681	(87) 국제공개번호
(86) 국제출원출원일자	1996년03월15일	(87) 국제공개일자
(81) 지정국	EP 유럽특허 : 오스트리아 벨기에 스위스 독일 덴마크 스페인 프랑스 영국 그리스 이탈리아 룩셈부르크 모나코 네덜란드 포르투갈 스웨덴 국내특허 : 아일랜드 중국 일본 대한민국	
(71) 출원인	히다치 도교 에렉트로닉스 가부시끼가이샤    시라이 요시히토 일본국 도교도 오우메시 후지하시 3-3-2가부시끼가이샤 히다치 세이사꾸쇼 가나이 쓰도무 일본국 도교도 지요다구 간다 스루가다이 4-6 다케다 가즈오	
(72) 발명자	일본국 사이타마켄 도코로자와시 니시토코로자와1-25-3-510 라이온즈플라자 니시토코로자와 미시다 히데츠구 일본국 도교도 고다이라시 죠스이혼쵸 1-31-9 메틀리키린28 히라이와 아츠시 일본국 도교도 히가시우라야마시 스와쵸 2-21-10 다지마 다케시 일본국 도교도 니시타마군 히노데쵸 히라이 2196-44 와타세 신이치로 일본국 도교도 고다이라시 죠스이혼쵸 6-3-1-3 백남기	
(74) 대리인	백남기	

실시예 : 있음

(54) 표면결정결합계측방법및그장치

요약

결정내의 결함을 산란광에 의해 검출하는 계측방법에 있어서, 시료 전체 표면영역의 결함의 입자적경계측과 파장 이하의 분해능에서의 결함깊이 위치계측을 가능하게 한다. 시료에 침입깊이가 3배 이상 다른 2파장광을 시료를 주사하면서 조사하고, 내부 결함으로부터의 산란광을 파장별로 계측하고, 장파장측의 산란광강도에 의해 결함사이즈를 도출하고, 그 산란광강도의 비에서 깊이위치를 도출하고, 결함의 웨이퍼 면내분포에 의해 깊이위치와 크기를 표시한다. 또, 이상의 광역계측에 의해 검출한 특성의 결함위치에 카메라의 관찰위치를 이동하여 주사하는 것에 의해서 결함의 형태관찰을 2파장으로 실행하고, 이 결함의 2파장 산란광 화상데이터에서 깊이위치와 결함 사이즈의 도출을 마찬가지로 실행한다. 본 발명에 의하면, 결함의 입자적경계측과 깊이위치계측을 갖는 시료전면의 계측과 결함의 1개단위의 상관찰에 의한 입자적경계측과 깊이위치계측이 가능하게 된다.

발명자

기술분야

본 발명은 반도체웨이퍼의 결정평가장치에 관한 것으로서, 특히 실리콘웨이퍼종의 석출물이나 적층결함 등의 결정결함의 존재밀도 및 사이즈, 결정표면으로부터의 깊이위치 계측방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경기술

LSI(대규모집적회로)의 집적도가 향상함과 동시에 LSI를 구성하는 MOS(Metal Oxide Semiconductor)트랜지

스터의 불량에 기인한 양품취득률과 신뢰성의 저하가 큰 문제로 되고 있다. MOS트랜지스터의 불량률의 원인으로서는 게이트산화막의 접착파괴 및 집합의 누설전류과다가 대표적인 것이다. 후자는 특히 DRAM(기억유지동작이 필요한 수시 라이트드래그 기억장치)에 있어서 리프래시불량이라 불리는 정보의 상실현상을 일으키므로 문제이다. 이를 MOS트랜지스터의 불량률의 대부분은 직접 또는 간접적으로 실리콘 기판중의 결정결함에 기인하고 있다. 결함이 디바이스에 미치는 영향은 결함의 존재밀도 및 사이즈, 표면으로부터의 깊이위치에 따라 다르므로 이를 양을 측정하는 계측기술이 중요하다.

상기한 결함계측기술에 관해서는 다음과 같은 공지가 있다. 실리콘기판을 벽개하고, 그 단면방향(시료의 표면법선방향과 수직인 방향)에서 Si결정을 투과하는 적외선을 조사하고, Si결정중의 미소결함으로부터의 산란광을 카메라로 촬영하는 방법이 있다. 본 발명은 적외선산란 토모그래피(tomography)법이라 불리고, 예를 들면 Journal of Crustal Growth 제88권(1998년) pp.332에 상세히 기재되어 있다. 본 계측에 있어서는 미소영역의 결함의 존재분포를 알 수 있지만, 시료를 벽개하는 것이 필요하고, 파괴계측으로서 시료준비에 시간이 걸린다. 이 기술에서는 빔을 검출방향과 수직인 방향에서 조사하여 주사하므로 조사빔직경에 의해 깊이분해능을 얻는다. 그 분해능은 조사광 파장정도(약 1 $\mu$ m)가 한계이다.

일본국 특허공개공보 평성5-264468호에 기재되어 있는 공지기술에 있어서는 적외선을 시료에 경사입사하고, 시료내부의 결함으로부터의 산란광을 적외선카메라에 의해서 2차원적으로 관찰하는 것에 의해, 산란광의 각 부분의 깊이를 그 시야에 있어서의 위치와 대응시켜 결함의 깊이위치를 구하는 방법이 기술되어 있다. 이 경우의 깊이분해능은 광학적 결상성능(축점성도)에 의해 결정되고, 파장과 굴절률의 곱정도 이므로 고작 4 $\mu$ m이다.

일본국 특허공개공보 평성6-50902호에 개시된 반도체웨이퍼표면의 결함계측의 종래방법에 대해 도 2를 사용해서 설명한다. 웨이퍼표면에 대해서 레이저광을 조사한다. 이 때, 웨이퍼를 회전시켜 웨이퍼표면으로부터의 산란광을 렌즈로 집광하여 검출기에 의해 검출한다. 얻어진 검출신호를 고주파수대역, 중간주파수대역 및 저주파수대역으로 분할하는 주파수대역 분할회로, 분할된 각 결함검출신호를 각각 디지털화하는 여러개의 A/D변환회로 및 디지털화된 각 결함검출신호를 결함데이터로서 각 결함의 검출위치에 대한 어드레스에 기억하는 여러개의 메모리를 마련한다. 각 결함데이터를 데이터처리부에 의해 처리해서 대역별로 프린터에 맵시하고, 각 맵시시의 결함 데이터에 의해 결함의 종류를 구별해서 평가한다. 상기 방법은 시간적으로 펄스형상으로 발생하는 산란광 검출신호의 주파수대역에 따라 결함의 형상이나 사이즈 등을 구별하는 방법이다. 이 계측을 포함하여 표면이물검사를 목적으로 한 계측에서는 일반적으로 1개의 파장의 산란광강도에 따라 표면이물의 사이즈를 평가하고 있다. 이 원리를 내부 결함 사이즈평가에 적용하면 동일 사이즈의 결함이라도 결함의 깊이위치에 따라서 산란광강도가 감소하므로 결함사이즈를 평가할 수 없다는 문제가 있다.

일본국 특허공개공보 평성2-61540호에 기재된 발명은 광투과성의 평면형상의 피검사물(박막 또는 비교적 얇은 투과판 등)에 부착된 이물의 위치나 크기 이외에 그 이물이 피검사물의 상면, 하면중의 어느 한쪽에 부착되어 있는지를 판정하는 결함검사장치에 관한 것으로서, 다른 투과율을 갖는 제1 광속과 제2 광속을 조사하고, 각각의 산란광 신호강도의 대소관계에 따라 이물이 압사면에 부착되어 있는지 또는 그 반대면에 부착되어 있는지를 판정하는 방법이다. 이 계측방법은 이물의 부착면을 판정할 수 있지만 내부결함의 깊이위치를 구할 수는 없다.

또, 일본국 특허공개공보 평성7-294422호에 기재된 발명은 실리콘으로의 입사광은 그 파장이 다른 내부로의 침입깊이가 변경되는 것을 이용해서 파장이 다른 몇개의 광원 또는 연속적으로 파장을 변경할 수 있는 광원에 의해 비스듬히 입사하고, 입사광의 침입깊이가 긴 것에 의해 검출한 결정결함에서 짧은 것의 경우를 빼면 그 침입깊이의 사이에 존재하는 결정결함만을 검출하는 방법을 개시하고 있다. 이 경우에 대상으로 하고 있는 결정결함은 결정표면~10 $\mu$ m정도의 깊이에 존재하는 것으로 하고 있다.

그러나, LSI에 있어서의 디바이스는 실리콘표면에서 0.5 $\mu$ m 이내의 영역에 형성되는 경우가 많다. 이 영역에 결함이 발생하면 디바이스불량이 발생할 확률이 높지만, 이것보다 깊은 영역에 결함이 발생해도 디바이스불량과는 관계가 없는 경우가 많다. 따라서, 결함계측의 깊이분해능으로서는 0.5 $\mu$ m 이하가 필요하다. 또, 결함의 사이즈에 의해서 디바이스에 대한 영향이 다르기 때문에 사이즈평가가 가능하지 않으면 안된다. 또한, 실리콘웨이퍼의 품질을 체크할 수 있기 위해 필요한 결함검출감도는 적어도 실리콘을 끌어올릴 때에 발생하는 결함을 검출할 수 있는 감도이다. 또, 웨이퍼면내의 결함분포는 균일하지는 않지만 일반적으로 웨이퍼전면계측이 필요하다. 또한, 이 전면계측에 필요한 시간은 적어도 하루의 노동시간 이내에 마칠 수 있을 정도의 단시간이지 않으면 안된다. 또, 웨이퍼면내분포와 동시에 결함의 종류의 식별을 위해 개개의 결함의 형태를 관찰할 수 있는 것이 바람직하다.

이상의 조건을 만족하는 결정결함 계측방법 및 그 장치를 제공하는 것을 본 발명의 목적으로 하고 있다.

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 개시

본 발명의 구성의 실시예를 이하에 열거한다.

[1] 시료에 흡수되는 파장의 광으로 침입깊이가 다른 파장을 발하는 여러개의 광원 또는 여러개의 파장광을 동시에 발하는 광원, 각각의 파장의 광을 시료에 조사하는 수단, 조사광을 시료에 대해 주사하는 수단 또는 시료를 조사광에 대해 주사하는 수단, 그 주사위치를 모니터하는 수단, 시료표면 또는 내부의 결함에서 발생한 산란광을 조사파장별로 분리해서 집광하여 파장마다 광검출기에 의해 검출하여 전기신호로 변환하는 검출계, 여러개의 파장중 특정의 파장의 산란광 강도신호(트리거신호)에 임계값을 마련하고 상기 산란광 강도신호가 그것 보다 큰 신호가 검출되었을 때에만 다른 파장의 산란광강도와 결함검출위치를 디지털화해서 메모리에 기억하는 수단, 상기 트리거신호파장의 침입깊이보다 침입깊이가 충분히 긴 파장의 산란광강도와 광산란이론(결함사이즈와 산란광강도를 결부시키는 이론, 예를 들면 M.본, E.윌프 저, 광학의 원리3, 도카이대학출판, 1975년 pp.902~971 및 Peter Chylek 저, Journal Optical Society Of

America 제67권 pp.561~563에 기재되어 있는 이론 등)을 사용해서 결함사이즈를 도출하는 데이터처리계 및 상기 측정결과를 표시하는 수단에 의해 구성되는 결함계측장치 및 그 장치에 의해서 실시되는 결함계측방법.

[2] 시료에 흡수되는 파장의 광으로 침입깊이가 다른 파장을 발하는 여러개의 광원 또는 여러개의 파장광을 동시에 발하는 광원, 각각의 파장의 광을 시료에 조사하는 수단, 조사광을 시료에 대해 조사하는 수단 또는 시료를 조사광에 대해 조사하는 수단, 그 조사위치를 모니터하는 수단, 시료표면 또는 내부의 결함에서 발생한 산란광을 조사파장별로 분리해서 집광하여 파장마다 광검출기에 의해 검출하여 전기신호로 변환하는 검출계, 여러개의 파장중 특성의 파장의 산란광 강도신호(트리거신호)에 임계값을 마련하고 상기 산란광 강도신호가 그것 보다 큰 신호가 검출되었을 때에만 다른 파장의 산란광강도와 결함검출위치를 디지털화해서 메모리에 기억하는 수단, 상기 트리거신호파장의 침입깊이보다  $n$ 배 침입깊이가 긴 파장의 산란광강도와 상기 광산란이론을 사용해서 결함사이즈를 도출하는 데이터처리계 및 상기 측정결과를 표시하는 수단에 의해 구성되는 결함계측장치 및 그 장치에 의해서 실시되는 결함계측방법. 여기서,  $n$ 의 값은 결함사이즈 측정정밀도를 적어도 10% 이하로 하기 위해서 결함사이즈와 산란광강도의 관계를 나타내는 그래프 도 4 및 침입깊이의 비와 산란광 강도신호의 깊이에 의한 감쇠율을 나타내는 그래프 도 5에서 침입깊이의 비가 적어도 3배 이상이지 않으면 안된다. 이와 같이, 결함사이즈 측정정밀도를 어떻게 취할 것인지에 의해서  $n$ 의 수를 결정한다.

[3] 시료에 흡수되는 파장의 광으로 침입깊이가 다른 파장을 발하는 여러개의 광원 또는 여러개의 파장광을 동시에 발하는 광원, 각각의 파장의 광을 시료에 조사하는 수단, 조사광을 시료에 대해 조사하는 수단 또는 시료를 조사광에 대해 조사하는 수단, 그 조사위치를 모니터하는 수단, 시료표면 또는 내부의 결함에서 발생한 산란광을 조사파장별로 분리해서 집광하여 파장마다 광검출기에 의해 검출하여 전기신호로 변환하는 검출계, 여러개의 파장중 특성의 파장의 산란광 강도신호(트리거신호)에 임계값을 마련하고 그것 보다 큰 신호가 검출되었을 때에만 다른 파장의 산란광강도와 결함검출위치를 디지털화해서 메모리에 기억하는 수단 및 여러개의 조사파장중의 어느 2개의 파장의 산란광강도( $S_1$ ,  $S_2$ )를 사용하고 후술하는 식 5 또는 식 9로 나타내는 관계식에 의해서 결함의 깊이위치  $Z$ 를 도출하는 수단에 의해 구성되는 결함계측장치 및 그 장치에 의해 실시되는 결함계측방법.

[4] 상기 [2] 또는 [3]의 장치 또는 그 장치에 의해 실시되는 결함계측방법에 있어서, 여러개의 파장의 조사광이 침입깊이가 적어도 3배 이상 다른 2파장으로서, 침입깊이가 짧은 쪽의 산란광 강도신호가 침입깊이가 긴 쪽의 산란광 강도신호보다 시간적으로 앞서 검출되도록 조사빔을 어긋나게 하고 침입깊이가 짧은 쪽의 신호검출을 트리거로 해서 2파장 양쪽의 산란광신호를 폐지하는 수단, 그 2파장의 산란광강도의 비를 사용해서 결함의 깊이위치를 도출하는 수단 및 침입깊이가 긴 쪽의 산란광강도를 사용해서 결함사이즈를 도출하는 수단을 더 갖는 결함계측장치 및 그 장치에 의해 실시되는 결함계측방법. 이 방법에서는 침입깊이가 짧은 쪽의 신호를 트리거신호로 해서 결함을 검출하지만, 침입깊이가 짧은 쪽의 파장은 실리콘의 경우 단파장측이고, 동일한 조사파장밀도에서 비교한 경우에는 단파장의 쪽이 결함의 산란면적이 크므로 검출강도가 높다는 장점이 있다.

[5] 상기 [4]의 장치 또는 그 장치에 의해 실시되는 결함계측방법에 있어서, 침입깊이가 긴 쪽의 산란광 강도신호가 침입깊이가 짧은 쪽의 산란광 강도신호보다 시간적으로 앞서 검출되도록 조사빔을 어긋나게 하고 침입깊이가 긴 쪽의 신호검출을 트리거로 해서 2파장 양쪽의 산란광신호를 폐지하는 수단, 그 후 데이터처리의 단계에서 침입깊이가 짧은 쪽의 신호강도가 어느 일정한 값 이상의 결함에 대해서만 2파장의 산란광강도의 비를 사용해서 결함의 깊이위치를 도출하는 수단 및 침입깊이가 긴 쪽의 산란광강도를 사용해서 결함사이즈를 도출하는 수단을 갖는 결함계측장치 및 그 장치에 의해 실시되는 결함계측방법. 이 방법에서는 침입깊이가 긴 쪽의 신호를 트리거신호로 해서 결함을 검출하지만, 이 방법의 장점은 한번에 같은 영역의 결함도 많은 영역의 결함도 검출할 수 있다는 것이다.

[6] 시료로 침입깊이가 적어도  $n$ 배 이상 다른 파장을 포함하는 여러개의 파장의 광을 조사하는 수단, 조사광이 시료의 임의의 장소에 조사되도록 시료 또는 조사빔을 이동시키는 수단, 결함에서 발생하는 산란광을 결상시켜 얻어지는 결함상을 파장별로 촬영하는 수단, 결함상의 산란광 강도분포의 각 파장에 있어서의 피크값을 사용해서 그 결함의 깊이위치를 도출하는 수단 및 여러개의 조사파장중 적어도 침입깊이가  $n$ 배 이상 다른 2파장에서 관찰되는 결함에 대해서 침입깊이가 긴 쪽의 결함상의 산란광 강도분포 피크값과 상기 광산란이론을 사용해서 결함사이즈를 도출하는 것을 특징으로 하는 결함계측장치 및 그 장치에 의해 실시되는 결함계측방법. 여기서,  $n$ 의 값은 결함사이즈 측정정밀도를 적어도 10% 이하로 하기 위해서 결함사이즈와 산란광강도의 관계를 나타내는 그래프 도 4 및 침입깊이의 비와 산란광 강도신호의 깊이에 의한 감쇠율을 나타내는 그래프 도 5에서 침입깊이의 비가 적어도 3배 이상이지 않으면 안된다. 이와 같이, 결함사이즈 측정정밀도를 어떻게 취할지에 의해서  $n$ 의 수를 결정한다.

[7] 상기 [1] 및 [5]를 조합한 결함계측방법 및 결함계측장치.

[8] 시료를 상기 [1] 및 [5]의 방법에 의해 결함계측을 실행한 후에 검출한 각 결함의 위치데이터에 따라 특성의 관찰하는 결함을 선정하고, 이 결함의 위치에 조사광이 조사되도록 해서 상기 [6]의 방법에 의해 계측하는 결함계측방법 및 결함계측장치.

다음에, 깊이분해능을 얻기 위한 원리와 입사각을 구하기 위한 원리를 이하에 설명한다. 시료물질의 파장 $\lambda$ 에 대한 굴절률을  $n$ , 감쇠율을  $k$ 로 하면 입사광의 진폭이 표면의 값의  $1/e$ ( $e$ 는 자연대수의 바닥:  $e \approx 2.718$ )로 되는 침입깊이  $r$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Gamma = \lambda / 2\pi k$$

따라서, 공기중에서 입사각 $\theta$ 로 물질에 입사한 조사광강도는 표면으로부터의 깊이  $Z$ 인 곳에서는 실리콘중

의 굴절각이  $\arcsin(\sin\theta/n)$ 인 것을 고려하면,  $\exp(-(2Z/r)\cos(\arcsin(\sin\theta/n)))$ 만큼 표면에서 감쇠하게 된다. 다음에, 도 3에 도시한 바와 같이 공기중에서 시료표면에 광이 입사각  $\theta$ 로 입사하고 그 조사광이 시료내부의 굴절에 의해 시료표면방향으로 산란된 광을 임의의 입체각으로 검출하는 경우를 고려한다. 그 검출입체각에 대한 굴절의 적분산란단면적을  $\sigma$ , 조사광각도를  $\Omega$ , 조사광의 웨이퍼 표면입사각에서의 투과율을  $T_i$ , 굴절로부터의 산란광의 웨이퍼내부에서 대기중으로의 투과율을  $T_s$ 로 했을 때, 시료표면에서 깊이  $Z$ 의 위치에 있는 굴절로부터의 산란광각도  $S$ 는 조사광의 감쇠와 산란광의 감쇠의 양쪽을 고려해서 이하와 같이 나타낼 수 있다.

$$S = T_i T_s / \sigma \exp[-(2Z/\Gamma)(1 + 1/\{\cos(\arcsin(\sin\theta/n))\})]$$

시료물질의 파장  $\lambda_1$  및  $\lambda_2$ 에 대한 굴절률을 각각  $n_1, n_2$ ; 침입깊이를 각각  $r_1, r_2$ , 조사광각도를 각각  $\Omega_1, \Omega_2$ , 측정되는 산란광각도를 각각  $S_1, S_2$ , 적분산란단면적을 각각  $\sigma_1, \sigma_2$ , 조사광투과율을 각각  $T_{i1}, T_{i2}$ , 산란광투과율을 각각  $T_{s1}, T_{s2}$ 로 하면 이하의 식이 성립한다.

$$S_1 = T_{i1} T_{s1} / \Omega_1 \sigma_1 \exp[-(2Z/\Gamma_1)(1 + 1/\{\cos(\arcsin(\sin\theta/n_1))\})]$$

$$S_2 = T_{i2} T_{s2} / \Omega_2 \sigma_2 \exp[-(2Z/\Gamma_2)(1 + 1/\{\cos(\arcsin(\sin\theta/n_2))\})]$$

단,  $r_1 > r_2$ 로 한다. 식 3과 식 4에서

$$Z = C_1 \ln[C_2 (S_1/S_2) (\sigma_2/\sigma_1)]$$

단,  $C_1$ 과  $C_2$ 는 장치정수와 시료의 광학정수로 이루어지고, 이하의 식으로 정의된다.

$$C_1 = 1 / \left[ (2/\Gamma_2)(1 + 1/\{\cos(\arcsin(\sin\theta/n_2))\}) - (2/\Gamma_1)(1 + 1/\{\cos(\arcsin(\sin\theta/n_1))\}) \right]$$

$$C_2 = (I_2/I_1) \cdot (T_{i2} T_{s2} / T_{i1} T_{s1})$$

$C_1$ 과  $C_2$ 는 장치정수이므로  $(S_1/S_2) (\sigma_2/\sigma_1)$ 를 알 수 있으면  $Z$ 가 구해진다.

여기서  $S_1/S_2$ 는 신호강도의 비로서 측정량에서 구해진다. 이것에 대해서  $\sigma_2/\sigma_1$ 를 구하는 방법을 이하에 설명한다.

$\sigma_1$  및  $\sigma_2$ 는 굴절의 입사직경에서 Mie산란이론(예를 들면, M.본, E.윌프 저, 광학의 원리3, (도카이대학 출판, 1979년) pp.902~971) 및 흡수매체중에 있어서의 산란이론(Peter Chylek 저, Journal Optical Society Of America 제67권 pp.561~563에 기재되어 있는 이론)을 사용해서 산출되므로, 우선 입사직경계 속의 원리에 대해 설명한다. 신호강도  $\sigma$ 로 검출되는 침입깊이  $r$  20이내에 존재하는 굴절의 신호강도  $S$ 에 대해 고려한다.  $r_1 > r_2$ 가 성립하는 경우, 이  $S$ 은 깊이에 의한 감쇠인자는 1로 되고 감쇠는 무시할 수 있다. 왜냐하면, 파장  $\lambda_2$ 의 산란광을 검출할 수 있는 굴절의 깊이 위치는  $Z < r_2$ 의 조건을 만족시키기 때문이다. 이 관계를 이하에 정량적으로 기술한다.

굴절사이즈를 예를 들면 10%이내의 정밀도로 계속하기 위해 신호강도  $S$ 의 깊이에 의한 감쇠는 어느 정도 이어야만 하는지를 고려한다. 실제의 계측에서는 굴절이 입사직경 0.1  $\mu$ m 이하인 경우가 대부분이기 때문에 굴절에 의한 산란현상은 산란광각도는 입사직경의 6승에 비례하고, 파장의 4승에 비례하는 레일리(Rayleigh)산란으로서 취급할 수 있다. 도 4는 입사직경이 파장보다 충분히 작고 레일리산란영역인 경우에 있어서의 상대입사직경과 상대산란광각도의 관계를 도시한 것이다. 입사직경계측정밀도가 10%이내이기 위해서는 산란광각도 계측정밀도를 50% 이내로 할 필요가 있는 것을 알 수 있다(도면중에 이 관계를 화살표로 나타내었다).  $r_2$  이내에서 검출된 굴절의 신호  $S$ 에 대해서 깊이에 의한 감쇠율이 50% 이하(즉, 감쇠인자가 0.5 이상)이기 위한 조건은 도 5에서 주어진다. 이 도면은 식 3에서  $Z=r_2$ 를 대입해서 얻어지는 관계를 그래프화한 것이다. 도면중에 화살표로 나타낸 바와 같이 감쇠인자가 0.5 이상이기 위해서는  $r_1/r_2 > 3$ 로 하면 좋다는 것을 알 수 있다. 도 6은 실리콘으로의 침입깊이의 파장의 준성을 "Handbook Of Optical Constants Of Solids" (1985년, 아카데미프레스사) 에드워드 D. 패트릭 편, pp.547~에 게재되어 있는 데이터에 따라서 그래프화한 것이다. 이 도면에서 알 수 있는 바와 같이, 파장 532nm와 파장 810nm의 조합을 사용한 경우, 침입깊이의 비는 약 100이고 상기 조건을 충분히 만족시키고 있다. 또, 레일리산란의 경우,  $\sigma_2/\sigma_1$ 는 굴절의 입사직경에 의존하지 않는 양으로 되고, 다음의 식으로 나타낸 바와 같이 조사파장에만 의존하는 양으로 된다.

$$\sigma_2/\sigma_1 = (\lambda_1/\lambda_2)^4$$

상기 식을 식 5에 대입하는 것에 의해 식 5가 이하와 같이 된다.

$$Z = C1 \ln (S1/S2) + C0$$

단, C0은 다음 식으로 나타내는 바와 같이 장치정수로 된다.

$$C0 = C1 \ln [C2 (\lambda1/\lambda2)^4]$$

또, 입자직경 d도 S1이 d의 6승에 비례한다는 관계에서 이하와 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln (d) = (1/6) \ln (S1) + C3$$

단, C3은  $\lambda1$ 과 검출각도와 조사강도의 함수로서 장치정수이다.

따라서, 깊이계측은 식 9에 따라 실행하고, 입자직경계측은 식 11에 따라 실행한다. 미처리 C2(Czochralski : 인상법)실리콘웨이퍼중에 포함되는 산소석출물인 성장(Grown-in)결함을 측정하고, 그 중, 특정 결함을 투과형 전자현미경으로 사이즈를 확인하고, 그 결함의 신호강도와 결함사이즈를 대응시켜 장치정수를 결정한다. 한번 이 대응을 실행하면, 그 이후 정기적으로 표면상의 폴리실릴렌 표준입자의 신호강도로 상대감도조정을 실행하면 좋다.

#### 도면의 간단한 설명

- 도 1은 본 발명의 제1 실시예의 개략구성도,
- 도 2는 종래기술의 단면개략도,
- 도 3은 광산란에 의한 결함검출의 원리를 설명하기 위한 도면,
- 도 4는 상대입자직경과 상대산란광강도의 관계를 도시한 도면,
- 도 5는 신호강도 S1의 깊이에 의한 감쇠율과  $r1/r2$ 의 관계를 도시한 도면,
- 도 6은 실리콘으로의 침입깊이의 파장의존성을 도시한 도면,
- 도 7은 C2형 실리콘웨이퍼의 표면에서 깊이 0.5 $\mu$ m까지의 결정결함의 면내분포의 실측예를 도시한 도면,
- 도 8은 C2형 실리콘웨이퍼에서 검출된 결정결함의 입자직경분포를 도시한 도면,
- 도 9는 에피택셜막 두께가 0.1 $\mu$ m와 0.3 $\mu$ m인 웨이퍼의 결정결함의 깊이위치분포를 도시한 도면,
- 도 10은 실리콘웨이퍼표면에 대략 수직입사인 경우의 조사 및 검출광학계의 예를 도시한 도면,
- 도 11은 실리콘웨이퍼표면에 대략 수직입사인 경우의 조사 및 검출광학계의 또 다른 예를 도시한 도면.

#### 실시예

본 발명을 실시하기 위한 최량의 형태

본 발명을 더욱 상세하게 설명하기 위해, 실시예의 구성도인 도 1을 사용해서 설명한다. 시료는 실리콘웨이퍼로서, 파장 810nm의 반도체레이저광 및 파장 532nm의 YAG레이저의 제2차 고조광(SHG)을 1/2파장판(26), (27)에 의해서 반도체웨이퍼표면에 대한 편광방향을 p편광으로 조정한다. 이들을 각각 렌즈(2), (3)에 의해 빔을 평행화하고, 미러(17), (17')를 거쳐 렌즈(4), (4')에서 집광하고, 실리콘웨이퍼(1)에 조사한다. 이 경우, 시료의 주사에 따라 시간적으로 파장 532nm가 파장 810nm보다 앞서 결함에 조사되도록 조사위치를 조사빔직경(약 5 $\mu$ m)의 수배정도의 거리만큼 머뭇나게 해서 계속한다. 결함의 검출은 파장 532nm의 산란광 강도신호(S2)가 임의의 설정한 임계값(S2<sub>m</sub>)을 초과한 경우에만 파장 532nm와 파장 810nm의 양 신호를 폐지하도록 한다. 단, 임계값(S2<sub>m</sub>)은 웨이퍼표면에서 발생하는 산란광 강도변동이 신호로서 검출되지 않도록 설정한다.

결정에 대한 조사빔의 주사에는 웨이퍼스케일의 광역주사와 수100 $\mu$ m의 미소영역의 주사의 2가지의 모드가 있고, 우선 광역주사모드에 의해 계측을 실행한다.

광역주사에 따른 산란광의 검출에 의해서 실리콘웨이퍼중에 포함되는 산소석출물(SiO2입자)나 전이 등의 결정결함이 산란체로서 검출된다. 결함으로부터의 산란광(5)을 대물렌즈(15)를 사용해서 집광하고, 파장 분리용 필터(6), (6') 및 필터(7), (8)에 의해서 파장 810nm와 532nm의 광을 분리하고, 렌즈(18), (19)에 의해 각각 집광하고, 광검출기(9), (10)에 의해 파장별로 검출한다. 각각의 검출신호는 각각 앰프(13), (14)에 의해서 증폭하고, A/D컨버터에 의해 디지털화해서 컴퓨터(16)에 폐지한다. 한편, 컴퓨터(16)에서 드라이버(22)를 사용해서 회전스테이지(23)를 회전방향( $\theta$ 방향) 및 반경방향(R방향)으로 주사하면서 웨이퍼고정지그(51)에 부착된 회전인코더 및 병진(位進)인코더의 좌표(R,  $\theta$ )를 모니터하면서 산란광 계측을 실행하고, 결함에서 산란광이 발생한 순간의 좌표(R,  $\theta$ )를 산란광 강도신호와 함께 컴퓨터(16)에

폐지한다.

미처리 C2 실리콘웨이퍼중에 포함되는 산소석출물인 성장결함을 측정하고, 그 중, 특정 결함을 투과형 전자현미경으로 사이즈를 확인하고, 그 결함의 신호강도와 결함사이즈를 대응시켜 장치정수를 결정한다. 한번 이 대응을 실행하면, 그 이후 정기적으로 표면상의 폴리실렌 표준입자의 신호강도에 의해 상대감도조정을 실행하면 좋다. 도 7은 미처리 C2 실리콘웨이퍼의 결함계측의 결과를 깊이 0.5 $\mu$ m까지의 결함의 면내분포로 도시한 것이다. 이 결함은 성장결함이라 불리고, 산소석출물인 것을 알 수 있다. 도 8은 이 결함의 입자적경분포로서, 횡축이  $\ln(d)$ 이고, 강도분포의 피크위치를 60nm로 되도록 식 11의 우변의 C3를 결정하였다. 여기서는 C2 실리콘웨이퍼중에 포함되는 산소석출물 성장결함의 입자적경 60nm가 TEM에 의해서 알 수 있으므로(호라이 등, 잡지 세미컨덕터 실리콘(1994년 발행) pp.159), 이것을 참고로 하였다. 또, 깊이위치의 결정에 있어서의 식 9의 장치정수 C4와 C0은 다음과 같이 결정하였다. 즉, C2실리콘웨이퍼상에 두께 0.3 $\mu$ m만큼 실리콘을 에피택셜성장시킨 웨이퍼에 있어서 결함의 분포계측을 실행하고, C2실리콘기판중의 성장결함의 깊이분포가 증대하는 위치를 0.3 $\mu$ m로 하고, 가장 얇고 결함이 검출되는 위치를 표면으로 해서 C4와 C0을 결정하였다. 에피택셜성장의 두께 0.3 $\mu$ m 및 0.1 $\mu$ m인 웨이퍼의 계측에 도 9이다. 이 도면에서 깊이위치계측이 가능한 범위는 0.5 $\mu$ m 이내인 것을 알 수 있다. 이상과 같이 해서 각 결함에 대해 크기와 깊이위치를 도출하고, 그 결과를 디스플레이(20) 및 프린터(21)로 출력한다. 광역주사의 측정중 웨이퍼표면의 높이는 갠센서(도시하지 않음)를 대물렌즈 근방(15)에 마련하고, 피에조소자(25)를 이용한 서보기구에 의해서 변동을 대물렌즈(15)의 초점심도 이내로 제어한다.

다음에, 광역주사모드의 계측에 의해서 얻어진 결함분포에서 원하는 결함을 선택해서 그 위치에 조사빔이 조사되도록 조사빔 또는 시료를 이동한다. 결함으로부터의 산란광상을 카메라(50)에 의해 2차장 개별로 관찰하고, 화상데이터를 컴퓨터(16)에 폐지한다. 이 경우, 조사빔직경은 약 10 $\mu$ m이므로 약 10 $\mu$ m마다 약간씩 주사하면서 파장별로 화상데이터를 폐지한다. 파장마다의 산란광강도에서 깊이위치와 산란광상에 의한 결함형상을 얻는다.

상기의 조사형태에 있어서, 시료의 주사에 따라 시간적으로 파장 810nm가 파장 532nm보다 앞서 결함에 조사되도록 조사위치를 빔직경의 수배정도 어긋나게 해서 계속해도 좋다. 이 경우는 파장 810nm의 산란광 강도신호(S1)이 임의의 임계값(S1<sub>m</sub>)을 초과한 경우에 파장 532nm와 파장 810nm의 양 신호를 폐지하도록 한다. 또, 이 경우의 깊이위치를 결정할 수 있는 결함은 파장 532nm의 침입깊이 이내의 것이므로, 파장 532nm의 산란광 강도신호 S2의 값이 임의의 임계값(S2<sub>m</sub>)보다 큰 값을 갖는 데이터에 대해서만 깊이위치도출을 실행한다.

상기의 조사형태에 있어서, 입사광을 끌어내기 위해 렌즈(4)로서 원통형상렌즈를 사용해서 편평한 빔단면형상으로 조사하고, 그 편평한 조사영역으로부터의 산란광을 검출하는 광검출기로서 어레이검출기를 사용하고, 편평한 조사영역으로부터의 산란광을 어레이소자마다 병렬로 결함을 검출해서 데이터를 폐지해도 좋다. 이 경우는 계속시간을 단축할 수 있다.

실리콘웨이퍼 계측용으로서 침입깊이의 비가 3배 이상 다른 조사파장의 조합에 대해 도 6를 참고하면, ( $\lambda_1 = 352nm$  및  $\lambda_2 = 390nm$ 보다 장파장), ( $\lambda_1 = 442nm$  및  $\lambda_2 = 500nm$ 보다 장파장), ( $\lambda_1 = 488nm$  및  $\lambda_2 = 580nm$ 보다 장파장), ( $\lambda_1 = 515nm$  및  $\lambda_2 = 620nm$ 보다 장파장), ( $\lambda_1 = 532nm$  및  $\lambda_2 = 650nm$ 보다 장파장) 등이 고려된다. 파장의 조합은 계측하는 깊이나 측정하는 결정의 종류에 따라 변경할 필요가 있다. 본 특허내용은 실리콘에 한정되는 것은 아니고, 다른 재료(GaAs 등의 화합물반도체, 금속, 유기물 등)에 대해서도 적용할 수 있다. 예를 들면 GaAs결정의 경우는 GaAs결정에 대한 각 파장의 침입깊이에 의해 파장을 결정하면 좋다. 이 경우도  $\lambda_1$ 과  $\lambda_2$ 의 침입깊이의 비는 3 이상으로서 파장을 선택하는 것이 바람직하다. 다른 재료에 대해서도 마찬가지로 파장을 결정하는 것이 바람직하다.

상기 광학계에서는 조사광의 입사각도가 75°의 경사입사인 경우를 설명하였지만, 도 10에 산란광집광까지의 광학계를 도시한 바와 같이 대략 수직입사라도 좋다. 이 경우는 조사광의 시료표면으로부터의 반사광이 대략 수직으로 되돌아 온다. 이 반사광이 미약한 산란광의 계측의 장애로 되므로, 이 반사광을 검출하지 않도록 산란광집광용 렌즈에 구멍을 뚫어서 이 구멍을 통해 조사하고, 반사광은 이 구멍을 통해서 집광하지 않도록 한다. 집광후 또 구멍이 뚫린 미러에 의해 산란광만 반사시켜 광로를 변경하여 파장별로 검출하면 좋다. 또, 도 11에 도시한 바와 같이, 산란광집광용 렌즈가 반사광을 회피해도 좋다.

#### 산란광이용가능성

이상 설명한 바와 같이, 본 발명에 의하면 실리콘웨이퍼중의 결정결함계측에 있어서, 결함의 입자적경계측과 깊이위치계측을 갖는 웨이퍼전면의 계측과 결함을 1개단위의 상관찰에 의한 입자적경계측과 깊이위치계측을 가능하게 하였다.

#### (57) 청구의 범위

##### 청구항 1

시료에 광조사하여 상기 시료의 결정결함으로부터의 산란광을 계측하는 것에 의해 상기 결정결함검출을 실행하는 계측방법에 있어서,

상기 시료로의 침입깊이가 다른 여러종류의 파장의 광을 조사하고, 상기 시료 또는 조사광을 상대적으로 주사하고, 결함에서 발생하는 여러개의 파장의 산란광강도를 파장별로 검출하고, 여러개의 파장중 특성의 1파장의 산란광 강도신호(트리거신호)가 소정값보다 큰 신호가 검출되었을 때 상기 트리거신호의 파장의 침입깊이보다 침입깊이가 긴 파장의 산란광강도를 사용해서 결함사이즈를 구하는 것을 특징으로 하는 결함계측방법.

## 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 여러종류의 파장의 광은 필요로 되는 결합사이즈 계속정밀도에 따라 구해진 비율로 각 파장의 침입 깊이의 비율이 만족되도록 결정되는 것을 특징으로 하는 결합계측방법.

## 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 여러종류의 파장중의 어느 2개의 파장의 산란광강도를 사용해서 상기 결합의 깊이위치를 도출하는 것을 특징으로 하는 결합계측방법.

## 청구항 4

제2항에 있어서,

상기 여러종류의 파장의 광이 각 조사광의 침입깊이가 적어도 3배 이상 다른 2파장의 광인 것을 특징으로 하는 결합계측방법.

## 청구항 5

제3항에 있어서,

상기 2개의 파장의 광을 상기 시료에 조사하고, 침입깊이가 짧은 쪽의 파장의 산란광 강도신호가 긴 쪽의 산란광 강도신호보다 시간적으로 앞서 검출되도록 조사범위치를 어긋나게 하고, 침입깊이가 짧은 쪽의 파장의 산란광 강도신호를 트리거신호로 해서 2파장 양쪽의 산란광신호를 폐치하고, 침입깊이가 긴 쪽의 산란광강도를 사용해서 결합사이즈를 도출하고, 2개의 파장의 산란광강도를 사용해서 결합의 깊이위치를 도출하는 것을 특징으로 하는 결합계측방법.

## 청구항 6

제3항에 있어서,

상기 2개의 파장의 광을 상기 시료에 조사하고, 침입깊이가 긴 쪽의 파장의 산란광 강도신호가 짧은 쪽의 산란광 강도신호보다 시간적으로 앞서 검출되도록 조사범위치를 어긋나게 하고, 침입깊이가 긴 쪽의 파장의 산란광 강도신호를 트리거신호로 해서 2파장 양쪽의 산란광신호를 폐치하고, 침입깊이가 짧은 쪽의 신호강도가 어느 일정한 값 이상의 결합에 대해서만 침입깊이가 긴 쪽의 산란광강도를 사용해서 결합사이즈를 도출하고, 2개의 파장의 산란광강도를 사용해서 결합의 깊이위치를 도출하는 것을 특징으로 하는 결합계측방법.

## 청구항 7

시료에 광조사하여 상기 시료의 결정결합으로부터의 산란광을 계속하는 것에 의해 상기 결정결합검출을 실행하는 계측방법에 있어서,

상기 시료로의 침입깊이가 다른 여러종류의 파장의 광을 조사하고, 각 파장의 결정결합의 산란광결합을 화상데이터에 폐치하고, 상기 각 파장에 있어서의 결합화상의 산란광 강도분포의 피크값을 사용해서 적어도 2개의 파장으로 관찰되는 결합의 깊이위치를 도출하고, 침입깊이가 긴 쪽의 파장의 결합화상의 산란광 강도분포 피크값을 사용해서 상기 결합의 사이즈를 도출하는 것을 특징으로 하는 결합계측방법.

## 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 여러종류의 파장의 광은 필요로 되는 결합사이즈 계속정밀도에 따라 구해진 비율로 각 파장의 침입 깊이의 비율이 만족되도록 결정되는 것을 특징으로 하는 결합계측방법.

## 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 여러종류의 파장의 광이 각 조사광의 침입깊이가 적어도 3배 이상 다른 2파장의 광인 것을 특징으로 하는 결합계측방법.

## 청구항 10

시료에 광조사하여 상기 시료의 결정결합으로부터의 산란광을 계속하는 것에 의해 상기 결정결합검출을 실행하는 계측방법에 있어서,

청구의 범위 제1항에 기재된 결합계측방법 및 청구의 범위 제7항에 기재된 결합계측방법의 양쪽의 계측을 실행하는 것을 특징으로 하는 결합계측방법.

## 청구항 11

제10항에 있어서,

시료를 상기 청구의 범위 제1항 내지 제6항에 기재된 결합계측방법에 의해 결합계측을 실행한 후에 이 계측에서 얻어진 특정의 결합에 대해 상기 청구의 범위 제7항에 기재된 결합계측방법에 의해 계측을 실행하

는 것을 특징으로 하는 결함계측방법.

#### 청구항 12

시료에 흡수되는 파장의 광으로 침입깊이가 다른 파장을 발하는 여러개의 광원 또는 여러개의 파장광을 동시에 발하는 광원,

각각의 파장의 광을 시료에 조사하는 수단,

조사광을 시료에 대해 주사하거나 또는 시료를 조사광에 대해 주사하는 수단,

상기 시료표면 또는 내부의 결함에서 발생한 산란광을 조사파장별로 분리해서 집광하고, 파장마다 광검출기에 의해 검출해서 전기신호로 변환하는 검출계,

여러개의 파장중 특정의 1파장의 산란광 강도신호(트리거신호)가 소정의 임계값보다 큰 신호로 검출되었을 때에만 상기 트리거신호파장의 침입깊이보다 침입깊이가 긴 파장의 산란광강도와 결함검출위치를 기억하는 수단,

상기 기억된 데이터를 사용해서 결함사이즈를 도출하는 수단 및

상기 결과를 표시하는 수단에 의해서 구성되는 결함계측장치.

#### 청구항 13

제12항에 있어서,

상기 여러개의 파장의 광은 필요로 되는 결함사이즈 계측정밀도에 따라 구해진 비율로 각 파장의 침입깊이의 비율이 만족되도록 결정되는 것을 특징으로 하는 결함계측장치.

#### 청구항 14

제12항에 있어서,

상기 여러개의 파장중의 어느 2개의 파장의 산란광강도를 사용해서 상기 결함의 깊이위치를 도출하는 수단을 부가한 것을 특징으로 하는 결함계측장치.

#### 청구항 15

제13항에 있어서,

상기 여러개의 파장의 광이 각 조사광의 침입깊이가 적어도 3배 이상 다른 2파장의 광인 것을 특징으로 하는 결함계측장치.

#### 청구항 16

제12항에 있어서,

각각의 파장의 광을 시료에 조사하는 수단이 2개의 파장의 광을 상기 시료에 조사하고, 침입깊이가 짧은 쪽의 파장의 산란광 강도신호가 긴 쪽의 산란광 강도신호보다 시간적으로 앞서 검출되도록 조사빔위치를 어긋나게 해서 조사하는 수단이고,

여러개의 파장중 특정의 1파장의 산란광 강도신호(트리거신호)가 소정의 임계값보다 큰 신호로 검출되었을 때에만 상기 트리거신호파장의 침입깊이보다 침입깊이가 긴 파장의 산란광강도와 결함검출위치를 기억하는 수단이 침입깊이가 짧은 쪽의 파장의 산란광 강도신호를 트리거신호로 해서 2파장 양쪽의 산란광신호를 폐치해서 기억하고,

상기 2개의 파장의 산란광강도를 사용해서 상기 결함의 깊이위치를 도출하는 수단을 구비한 것을 특징으로 하는 결함계측장치.

#### 청구항 17

제12항에 있어서,

각각의 파장의 광을 시료에 조사하는 수단이 2개의 파장의 광을 상기 시료에 조사하고, 침입깊이가 긴 쪽의 파장의 산란광 강도신호가 짧은 쪽의 산란광 강도신호보다 시간적으로 앞서 검출되도록 조사빔위치를 어긋나게 해서 조사하는 수단이고,

여러개의 파장중 특정의 1파장의 산란광 강도신호(트리거신호)가 소정의 임계값보다 큰 신호로 검출되었을 때에만 상기 트리거신호파장의 침입깊이보다 침입깊이가 긴 파장의 산란광강도와 결함검출위치를 기억하는 수단이 침입깊이가 긴 쪽의 파장의 산란광 강도신호를 트리거신호로 해서 2파장 양쪽의 산란광신호를 폐치해서 기억하고,

상기 2개의 파장의 산란광강도를 사용해서 상기 결함의 깊이위치를 도출하는 수단을 구비한 것을 특징으로 하는 결함계측장치.

#### 청구항 18

시료에 흡수되는 파장의 광으로 침입깊이가 다른 파장을 발하는 여러개의 광원 또는 여러개의 파장광을 동시에 발하는 광원,

각각의 파장의 광을 시료에 조사하는 수단,



조사광이 시료의 임의의 장소에 조사되도록 시료 또는 조사빔을 이동시키는 수단,

상기 시료표면 또는 내부의 결함에서 발생한 산란광을 결상시켜 얻어지는 결함상을 조사파장별로 촬영하고 화상데이터에 폐치하는 수단,

각 파장에 있어서의 결함화상의 산란광 강도분포의 피크값을 사용해서 적어도 2개의 파장으로 관찰되는 결함의 깊이위치를 도출하는 수단,

침입깊이가 긴 쪽의 파장의 결함화상의 산란광 강도분포 피크값을 사용해서 상기 결함의 사이즈를 도출하는 수단 및

상기 결과를 표시하는 수단에 의해서 구성되는 것을 특징으로 하는 결함계측장치.

#### 청구항 19

제18항에 있어서,

상기 여러개의 파장의 광은 필요로 되는 결함사이즈 계측정밀도에 따라 구해진 비율로 각 파장의 침입깊이의 비율이 만족되도록 결정되는 것을 특징으로 하는 결함계측장치.

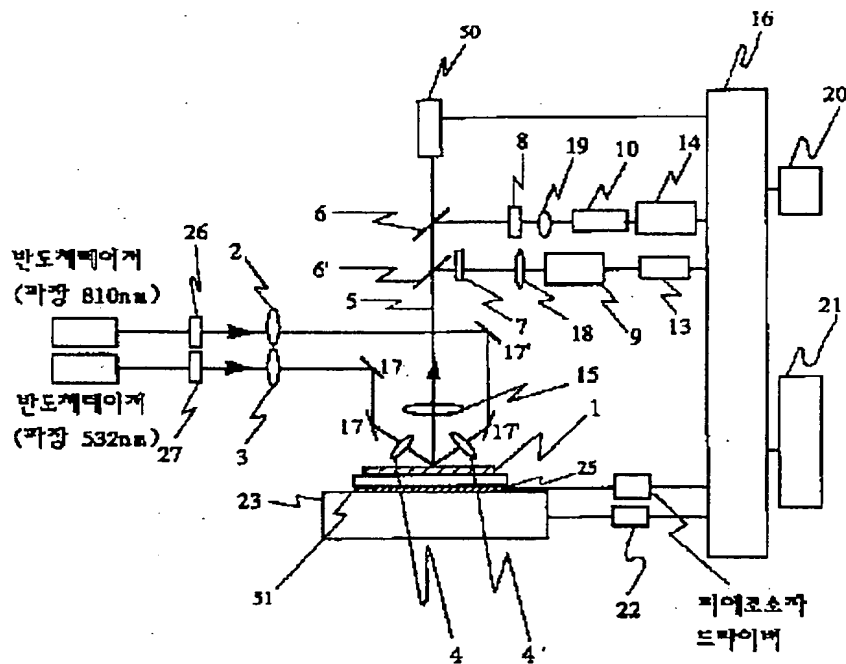
#### 청구항 20

제19항에 있어서,

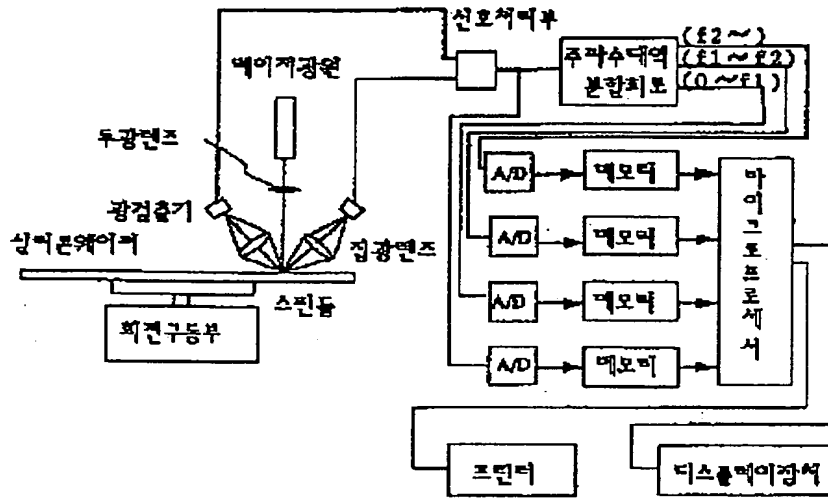
상기 여러개의 파장의 광이 각 조사광의 침입깊이가 적어도 3배 이상 다른 2파장의 광인 것을 특징으로 하는 결함계측장치.

도면

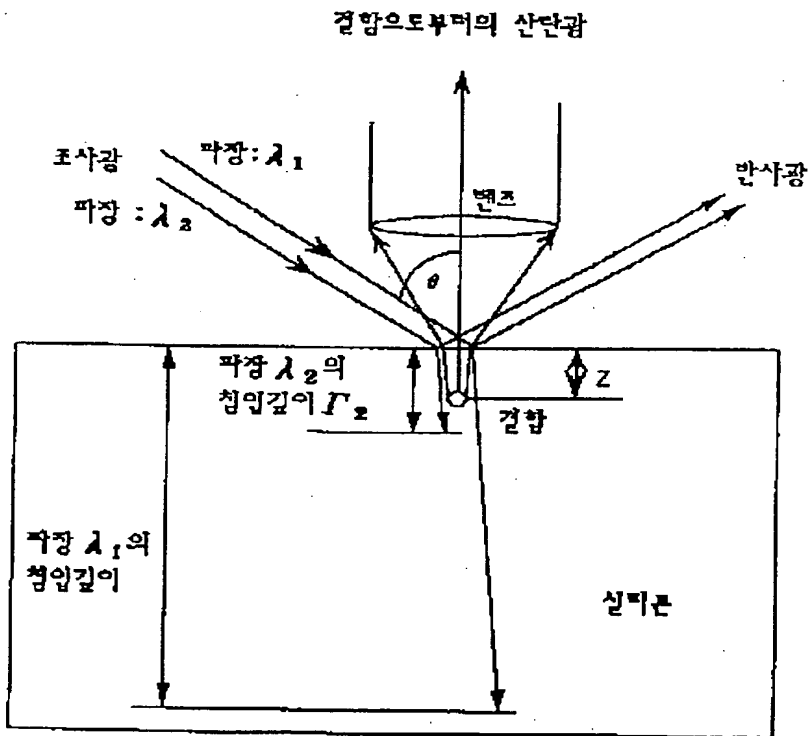
도면1



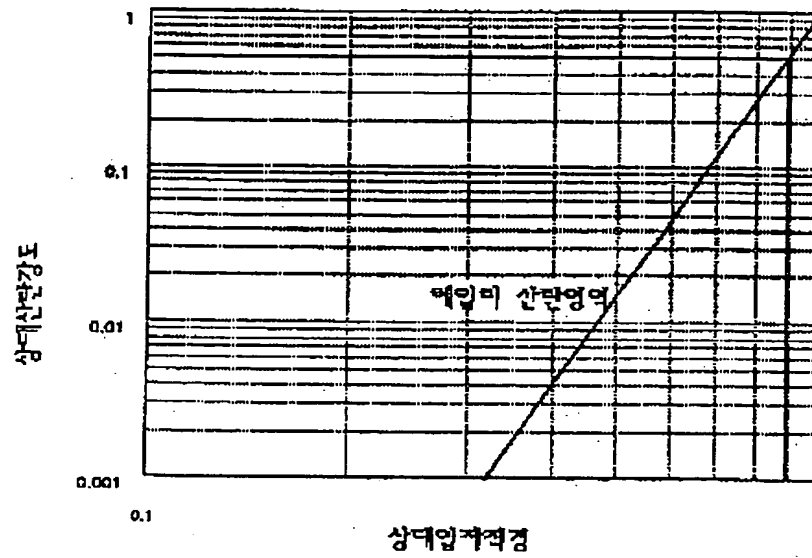
도면2



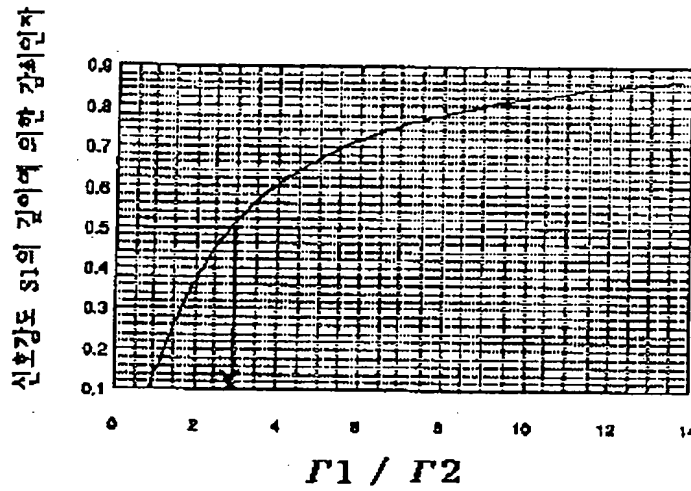
도면3



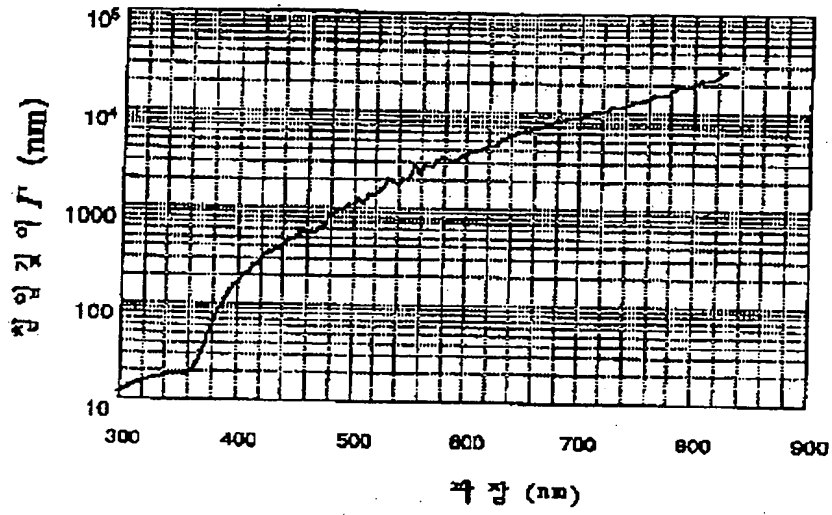
도 184



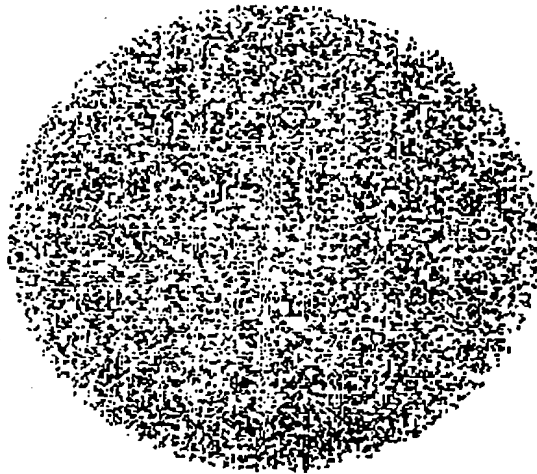
도 185



도 10

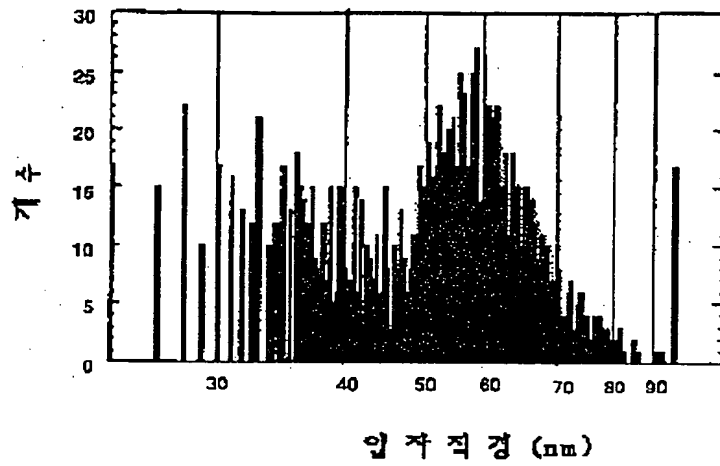


도 11

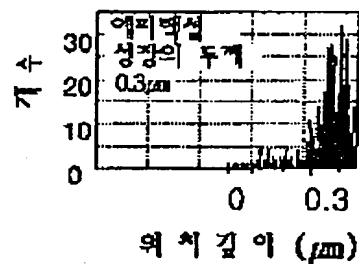
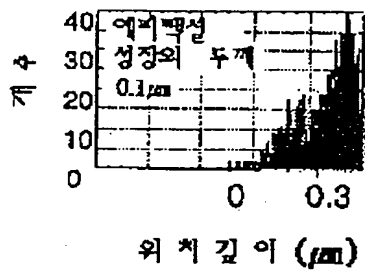


CZ실리콘웨이퍼종의 결함의 면내분포  
1도트가 1개의 결함을 나타낸다.

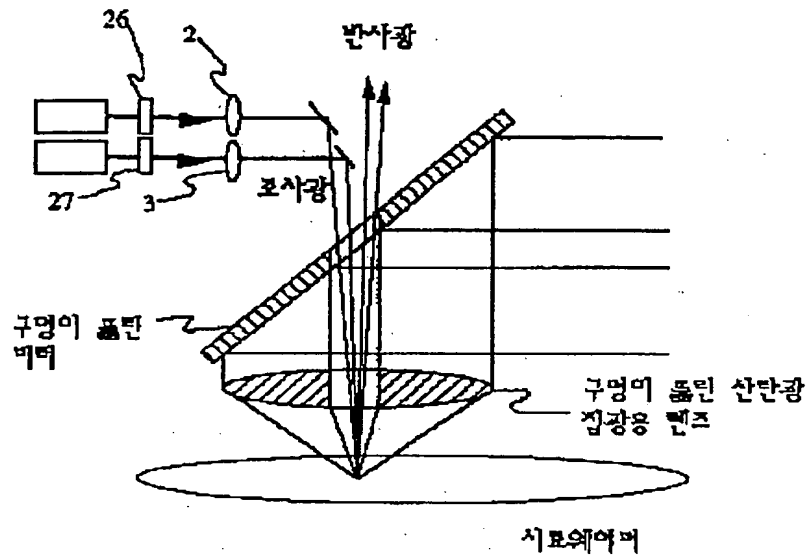
도면 8



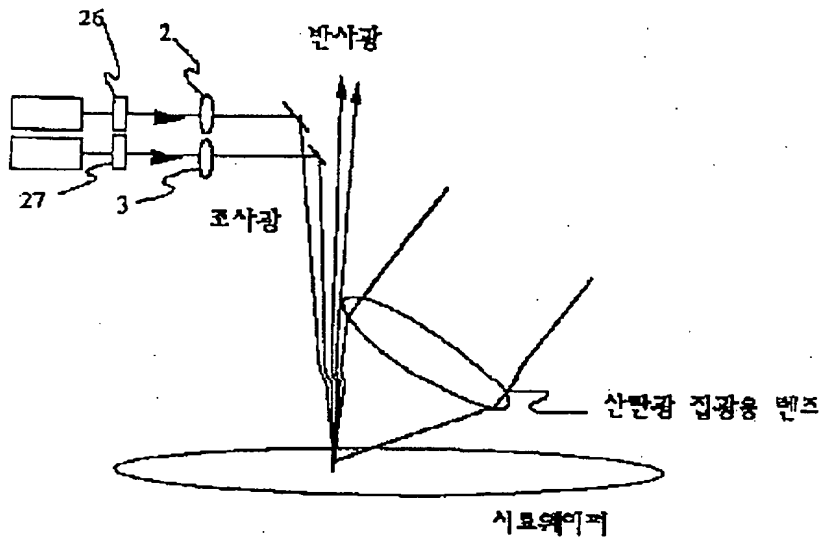
도면 9



도면 10



도면 11



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**